



Munich Personal RePEc Archive

Photovoltaic electricity generation: ignored, in practice as in theory, in Mexico

Juárez-Luna, David and Urdiales, Eduardo

Universidad Anáhuac México, Universidad Anáhuac México

19 July 2021

Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/109387/>
MPRA Paper No. 109387, posted 26 Aug 2021 06:59 UTC

Generación de electricidad fotovoltaica: ignorada, en la práctica como en la teoría, en México¹

David Juárez-Luna² Eduardo Urdiales³

Resumen

El presente artículo tiene un doble objetivo. Primero, profundizar en las razones, que aparentemente hoy son ignoradas, para impulsar la generación de electricidad FV en México. Segundo, sugerir una agenda de investigación asociada a la generación de electricidad FV en México. El análisis destaca cuatro razones principales por las que se debe impulsar la generación de electricidad FV en México: 1) aprovechar la privilegiada irradiación solar de México; 2) aprovechar la tendencia decreciente de los costos de la tecnología FV; 3) representa una alternativa para satisfacer la creciente demanda de electricidad, y; 4) contribuyen a mitigar las emisiones de CO₂ asociadas a la generación eléctrica. El presente análisis sugiere que, si se desea incrementar la participación de la generación de electricidad FV en la generación eléctrica nacional, se deben realizar investigaciones académicas orientadas a implementar políticas públicas con este fin.

Clasificación JEL: Q40, Q42, Q49.

Palabras clave: electricidad fotovoltaica, generación, irradiación solar.

Photovoltaic electricity generation: ignored, in practice as in theory, in Mexico

Abstract

This article has a double objective. First, it delves into the reasons, which are apparently ignored today, to boost the generation of PV electricity in Mexico. Second, it suggests a research agenda associated with the generation of PV electricity in Mexico. The analysis highlights four main reasons why PV electricity generation should be promoted in Mexico: 1) taking advantage of Mexico's privileged solar irradiation; 2) taking advantage of the decreasing trend in the costs of PV technology; 3) it represents an alternative to satisfy the growing demand for electricity, and 4) it contributes to mitigating CO₂ emissions associated with electricity generation. The present analysis suggests that, if it is desired to increase the participation of PV electricity generation in the national electricity generation, academic research should be carried out aimed at implementing public policies for this purpose.

JEL Classification: Q40, Q42, Q49.

Key words: photovoltaic electricity, generation, solar irradiation.

¹ Por aparecer en *Temas Contemporáneos de Investigación en Economía y Políticas Públicas II*, eds. Antonio Ruiz Porras e Iván Alejandro Salas Durazo, Universidad de Guadalajara.

² Quinto piso del CAIDE. Universidad Anáhuac México. Av. Universidad Anáhuac 46, Col. Lomas Anáhuac, Huixquilucan, Estado de México, México. C. P 52786. Teléfono: 56270210. Ext. 8344. E-mail: david.juarez@anahuac.mx.

³ Facultad de Economía y Negocios, Universidad Anáhuac México. Correo electrónico: eduardo.urdialesme@anahuac.mx.

1. Introducción

La generación de electricidad Fotovoltaica (FV) en México es ignorada en la práctica porque su participación es solo del 1.99% de la generación eléctrica nacional. Lo que contrasta con los niveles promedio anuales de irradiación solar de México, de 2,300 KWh/m². Para tener estas cifras en perspectiva, es de destacar que la irradiación solar de Alemania es aproximadamente la mitad de la de México, 1,157 KWh/m². Sin embargo, la participación de la generación de electricidad FV en Alemania es del 7.69%. De hecho, la irradiación solar de México es mayor que la de los principales países generados de electricidad FV (IEA,⁴ 2020). Adicionalmente, la literatura relacionada con la generación de la electricidad FV en México es escasa. Lo que implica que la generación de electricidad FV ha sido ignorada también en la teoría. Dentro de los pocos estudios realizados, se abordan las acciones relevantes para establecer políticas públicas para promover el uso de la energía solar en centrales FV (Urdiales, 2014), se analiza a las principales empresas inversionistas en la industria FV en México (Vargas-Hernández y Espinosa, 2016), se compara el consumo real de energía eléctrica de un usuario residencial y la generación estimada por medio de paneles solares (León-Trigo *et al.*, 2019), se determina el efecto de los subsidios gubernamentales en la rentabilidad financiera de los sistemas FV en México (Becerra-Pérez *et al.*, 2020), se describe la energía FV como mecanismo de energía renovable en México (Martínez Prats *et al.*, 2021). Partiendo de lo anterior, el presente capítulo tiene un doble objetivo. Primero, profundizar en las razones, que aparentemente hoy son ignoradas, para impulsar la generación de electricidad FV en México. Segundo, sugerir una agenda de investigación asociada a la generación de electricidad FV en México.

⁴ Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés).

Se emplean datos de la Comisión Europea (2013), CONAPO⁵ (2016), ETIP SNET⁶ (2016), IEA (2010, 2020), IRENA⁷ (2017, 2019 y 2021), LGCC⁸ (2012), SENER (2017, 2018, 2019 y 2020); El Banco Mundial (2017).

El análisis destaca cuatro razones principales por las que se debe impulsar la generación de electricidad FV en México: 1) aprovechar la privilegiada irradiación solar de México; 2) aprovechar la tendencia decreciente de los costos de la tecnología FV; 3) representa una alternativa para satisfacer la creciente demanda de electricidad, y; 4) contribuyen a mitigar las emisiones de CO₂ asociadas a la generación eléctrica.

De hecho, se encuentra que, para que México aproveche su favorecida irradiación solar, debería incrementar la participación de la generación de electricidad FV en 1,656% con respecto a la generación actual (6,591 GWh).

Además, el presente análisis deja en claro que es necesario realizar estudios sobre generación de electricidad FV en México en los cuales se analicen: los factores (políticos, legales, económicos, tecnológicos, entre otros) que limitan su participación en la canasta de generación de electricidad en México; el costo de la tecnología FV en México; el costo de generación de electricidad FV, comparado con los costos de otras tecnologías de generación de electricidad, así como dentro de portafolios de generación de electricidad en México; la mitigación de las emisiones de CO₂ a través de generar electricidad FV, comparada con otras tecnologías limpias de generación eléctrica; la participación eficiente de la electricidad FV en un portafolio de generación de electricidad en México.

⁵ Consejo Nacional de Población.

⁶ Plataforma europea de tecnología e innovación (ETIP, por sus siglas en inglés).

⁷ Agencia internacional de energías renovables (IRENA, por sus siglas en inglés).

⁸ Ley General de Cambio Climático.

El presente análisis se basó en revisar la literatura existente para destacar las razones por las que se debe impulsar la generación de electricidad FV en México. Además, para estimar la generación de electricidad FV de México, dada su irradiación solar, se empleó una estimación simple de mínimos cuadrados ordinarios. Por lo que, para fortalecer las razones por las que se debe impulsar la generación de electricidad FV hace falta realizar análisis que incluyan modelos económicos y/o econométricos donde la generación de electricidad FV dependa de otras variables adicionales a la irradiación solar.

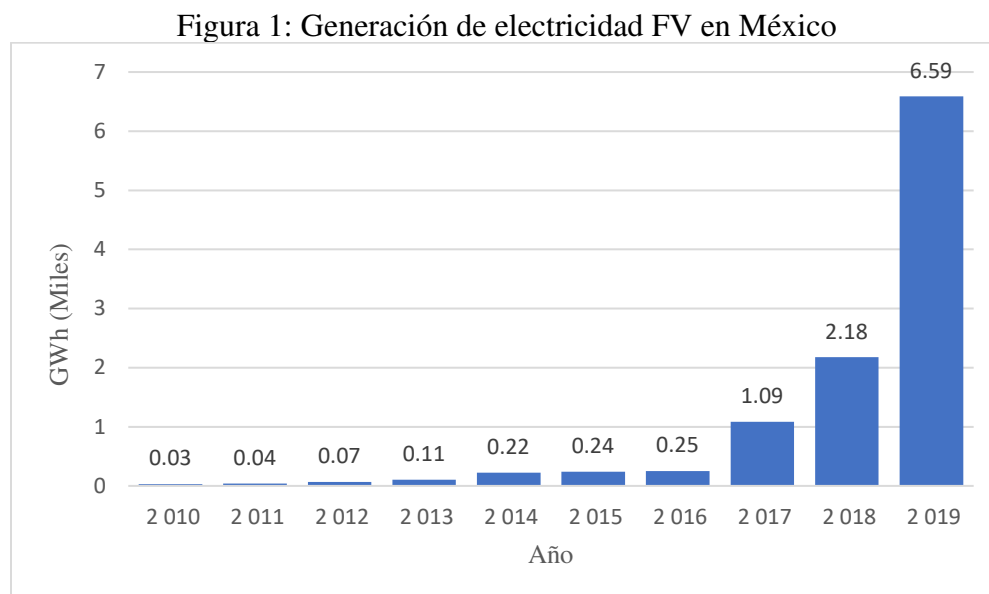
El resultado obtenido sugiere que, si se desea incrementar la participación de la generación de electricidad FV en la generación eléctrica nacional, se deben realizar investigaciones académicas orientadas a implementar políticas públicas con este fin.

El trabajo se divide en ocho secciones. La segunda presenta la generación de electricidad FV en México. En la tercera sección se analiza la relación entre la generación de electricidad FV y la irradiación solar. La cuarta sección analiza la tendencia decreciente de los costos de la tecnología FV. En la quinta se aborda la demanda creciente de electricidad en México. En la sexta se analiza la necesidad de mitigar las emisiones de CO₂. La séptima sección presenta la proyección de la electricidad FV en la generación eléctrica nacional. Las conclusiones se presentan en la octava sección.

2. Generación de electricidad FV en México

En México, el primer contrato de interconexión FV en pequeña escala se dio en el año 2005 con capacidad de 16MW. La primera central FV de gran escala se instaló en el año 2011, con lo que en ese año se llegó a una generación eléctrica de 40 GWh. Para el año 2019, la generación eléctrica mediante energía solar FV alcanzó los 6,591GWh (AIE, 2020). Como se muestra en la Figura 1, el crecimiento de la generación de electricidad FV se da a partir de

la aprobación de la reforma energética, en el año 2013, la cual liberaliza la industria eléctrica. A partir de ese año se da un crecimiento exponencial de la generación de electricidad FV, particularmente con las subastas de energía iniciadas en el año 2015 y continuadas en los años 2016 y 2017, las cuales comenzaron a entregar energía en el año 2018.



Fuente: IEA (2020)

Al finalizar el año 2019, se contaba con 42 centrales solares en operación comercial ubicadas en 13 estados del país --Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila, Durango, Estado de México, Guanajuato, Jalisco, Querétaro, San Luis Potosí, Sonora y Yucatán--. Por lo que a generación solar distribuida se refiere, operan 94,893 techos solares, (SENER, 2019). Al finalizar el año 2019 la generación eléctrica FV alcanzó los 6,591 GWh (AIE, 2020). Lo que significó un crecimiento del 302% en la generación eléctrica FV en México del año 2018 al año 2019. No obstante, la generación de electricidad FV en al año 2019 representó solo el 1.99% de la generación eléctrica nacional.

3. Irradiación solar y generación de electricidad FV

Los sistemas FV aprovechan la irradiación solar para generar electricidad. A este respecto, la privilegiada irradiación solar con la que cuenta México constituye la **primera** razón para impulsar la generación de electricidad FV. A continuación, se profundiza en este aspecto.

3.1 Irradiación solar

La irradiación solar se define como el flujo de energía proveniente del Sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (Colmenar, Borge, Collado, y Castro, 2015), que permite la transferencia de energía fotovoltaica a la superficie terrestre. Por sus características, la irradiación solar puede ser directa, difusa o reflejada:

- a) Directa: Es la que se recibe directamente desde el sol en línea recta, sin que se desvíe en su paso por la atmósfera. Es la mayor y la más importante en las aplicaciones fotovoltaicas.
- b) Difusa: Es la que se recibe del sol después de ser desviada por dispersión atmosférica. Es irradiación difusa la que se recibe a través de las nubes, así como la que proviene del cielo azul. De no haber radiación difusa, el cielo se vería negro aún de día, como sucede por ejemplo en la luna.
- c) Reflejada: Es la irradiación directa y difusa que se recibe por reflexión en el suelo u otras superficies próximas.

La generación de electricidad FV se da a través de las irradiaciones directa y difusa. Las cantidades de irradiación son expresadas generalmente en términos de dos medidas: 1) una medida del flujo de energía recibida por unidad de área en forma instantánea (energía/área-tiempo) y cuya unidad es el Watt por metro cuadrado (W/m^2), y; 2) La exposición radiante, que es la medida de la irradiación solar, en la cual la irradiación es integrada en el tiempo

como energía/área y cuya unidad es el kWh/m² por día (si es integrada en el día) (Tejeda Martínez y Gómez-Azpeitia, 2015).

México cuenta con un promedio de irradiación solar anual muy favorecido, con índices que van de los 4.4 kWh/m² por día en la zona centro, a los 6.3 kWh/m² por día en el norte del país. La Figura 2 muestra el potencial global FV en México. Es evidente que en la mayor parte del país existe un alto potencial FV.

Figura 2: Mapa de potencial global FV en México

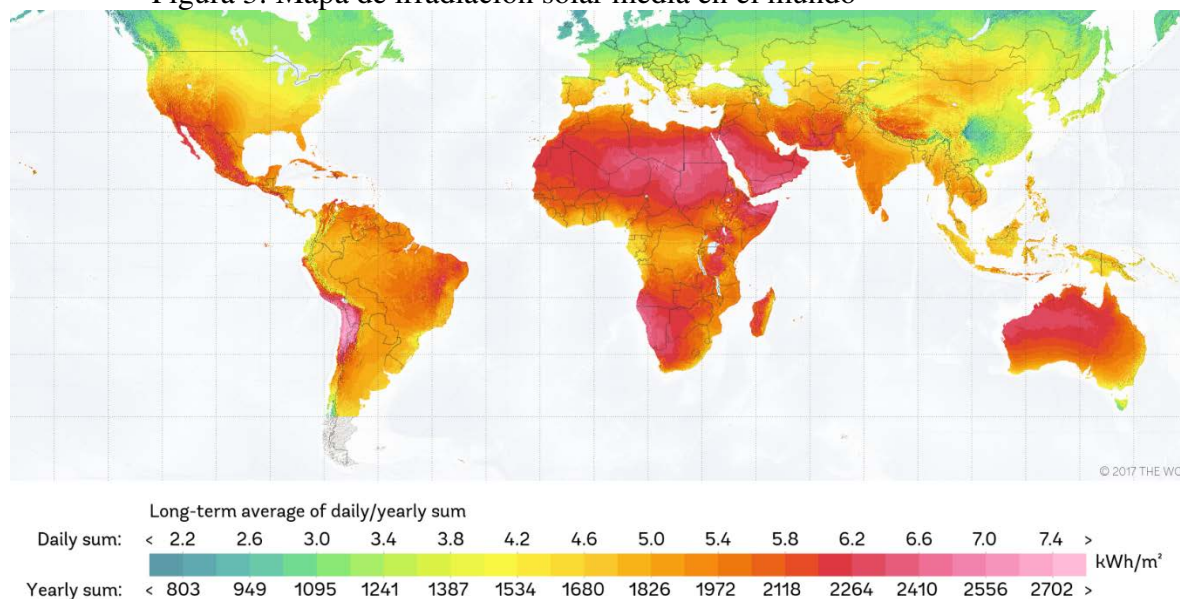


Fuente: The World Bank / Global Solar Atlas, 2017.

México recibe un promedio anual de irradiación solar de 2,300 KWh/m². Es de destacar que, ninguno de los principales países generadores de electricidad FV supera a México en irradiación solar, dada en KWh/m² (AIE, 2020): Estados Unidos (2,044); España (1,819); China (1,750); Japón (1,679); Italia (1,664); Australia (1,627); India (1,556); Francia (1,437);

Alemania (1,157), y; Reino Unido (1,094). El mapa de la irradiación solar media en el mundo, el cual se muestra en la Figura 3, ilustra este hecho.

Figura 3: Mapa de irradiación solar media en el mundo



Fuente: The World Bank / Global Solar Atlas, 2017.

3.2 Generación de electricidad FV

La generación de electricidad FV en México de 6,591 GWh, que representa el 1.99% de la generación total de electricidad en 2019, contrasta con la favorecida irradiación solar con la que cuenta, de 2,300 KWh/m² al año. Este hecho es sorprendente porque, por un lado, México cuenta con más irradiación solar con la que cuentan los principales países generadores de electricidad FV. Por otro lado, como se muestra en la Tabla 1, la generación eléctrica FV de México es mucho menor a la generada por los principales países generadores de electricidad FV.

Tabla 1: Principales países generados de electricidad FV y México en el año 2019.

| | Niveles promedio anuales de irradiación solar (KWh/m ²) | Generación de electricidad FV GWh (2019) |
|----------------|---|--|
| México | 2,300 | 6,591 |
| Estados Unidos | 2,044 | 93,129 |
| España | 1,819 | 9,294 |
| China | 1,750 | 223,800 |
| Japón | 1,679 | 74,114 |
| Italia | 1,664 | 23,689 |
| Australia | 1,627 | 14,844 |
| India | 1,556 | 50,557 |
| Francia | 1,437 | 11,357 |
| Alemania | 1,157 | 47,517 |
| Reino Unido | 1,094 | 12,677 |

Fuente: IEA (2020)

Es importante analizar la relación entre la generación de electricidad FV con la irradiación solar. Para ello, se plantea un escenario hipotético, donde la generación de electricidad FV, dada por la variable y , solo depende de los niveles promedio anuales de irradiación solar, dada por la variable x . Por lo que, al emplear mínimos cuadrados ordinarios, se tiene la siguiente estimación lineal de la generación de electricidad FV de los diez países principales generadores de electricidad FV:⁹

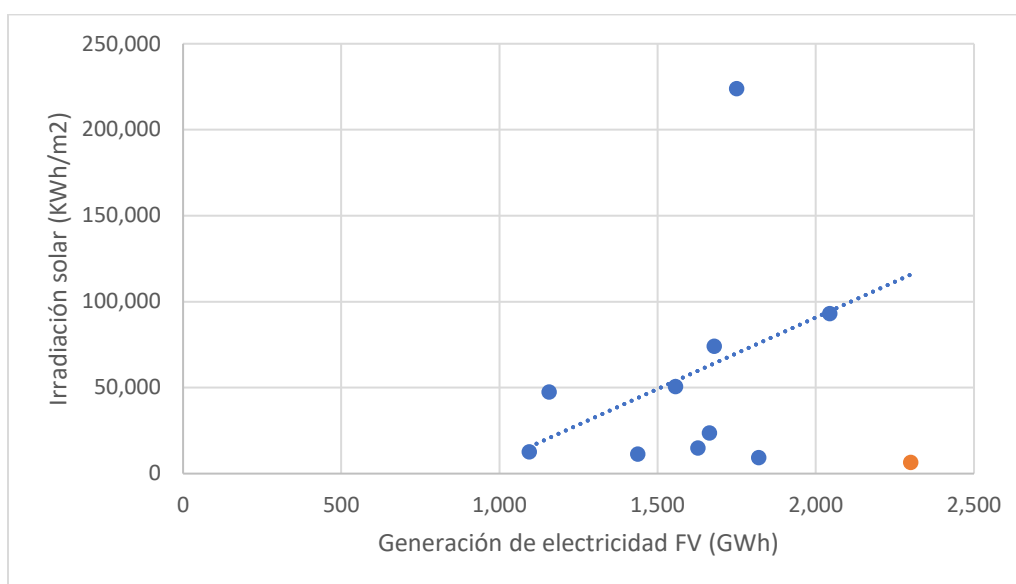
$$(1) \quad y = 83.139x - 75486$$

Dicha estimación establece una relación positiva entre la generación de electricidad FV y la irradiación solar de los diez países principales generadores de electricidad FV.

⁹ Dicha regresión cuenta con $R^2 = 0.1349$.

La ecuación (1) indica que, en este escenario hipotético, a la irradiación solar de México, de 2,300 KWh/m², le correspondería una generación de electricidad FV promedio estimada de 115,733.7 GWh. La Figura 4 muestra la irradiación solar de los principales países generadores de electricidad FV y la de México (en naranja), así como su correspondiente generación de electricidad FV. También se muestra la estimación dada por la ecuación (1).

Figura 4: Generación de electricidad FV e irradiación solar de los principales países generadores de electricidad FV (2019)



Fuente: Elaboración propia con datos de IEA (2020)

Es evidente que la generación de electricidad FV en México en el año 2019, de 6,591 GWh, dista mucho de la generación de electricidad FV estimada (115,733.7 GWh) que le correspondería. Lo que indica que México genera al rededor del 5.7% de la electricidad FV que podría generar dada la irradiación solar que recibe. Dicho de otro modo, para que México aproveche su favorecida irradiación solar se debería aumentar la generación de electricidad FV en 1,656%.

El resultado anterior indica que, por un lado, México desaprovecha gran parte de la irradiación solar que recibe. Por otro lado, deja claro que la generación de electricidad FV en México no solo depende de la favorecida irradiación solar que recibe. Existen factores que limitan la participación de generación de electricidad FV en México. Éstos pueden ser políticos, legales, económicos, entre otros. Analizar dichos factores escapa al alcance del presente capítulo. No obstante, el presente resultado hace evidente que es necesario realizar investigaciones concretas relacionadas con la electricidad FV en México, con el objetivo de impulsar su participación en la canasta de generación de electricidad.

En los siguientes capítulos se profundiza en las razones por las que, junto con la favorecida irradiación solar, México debería impulsar la generación de electricidad FV.

4. Tendencia decreciente de los costos de la tecnología FV

La **segunda** razón para impulsar la generación de electricidad FV en México consiste en la tendencia decreciente de los costos de la tecnología FV.

La tecnología FV y sus características particulares determinan el costo de los sistemas FV.

El costo total de un sistema FV conectado a la red en un hogar es la suma de los costos de los módulos fotovoltaicos, de los componentes de Balance del Sistema como el inversor, cable, entre otros y de la instalación.

Un panel FV es un conjunto de módulos FV que se interconectan en arreglos en serie y en paralelo. Un panel solar puede contener cualquier cantidad de módulos de acuerdo con la capacidad del sistema que se vaya a interconectar.

Los paneles solares generan corriente directa solo durante el día, por lo que también se requiere un sistema más complejo que permita aprovechar la energía fotovoltaica en situaciones reales. Son los llamados sistemas FV, y pueden estar conectados o no a la red

eléctrica convencional. Aquellos que están conectados a la red generan energía eléctrica sin acumularla, es decir sin necesidad de almacenarla durante el día. En los lugares en los que se conectan los sistemas FV a la red son más rentables que los sistemas no conectados (autónomos). Los sistemas FV conectados a la red son los más comunes en todo el mundo respecto de los autónomos, que son utilizados para generar electricidad en zonas rurales, de difícil acceso, alejadas de la acometida de la red convencional.

Partiendo de lo anterior, el costo de los módulos FV, y por lo tanto del sistema FV, depende de tres factores:

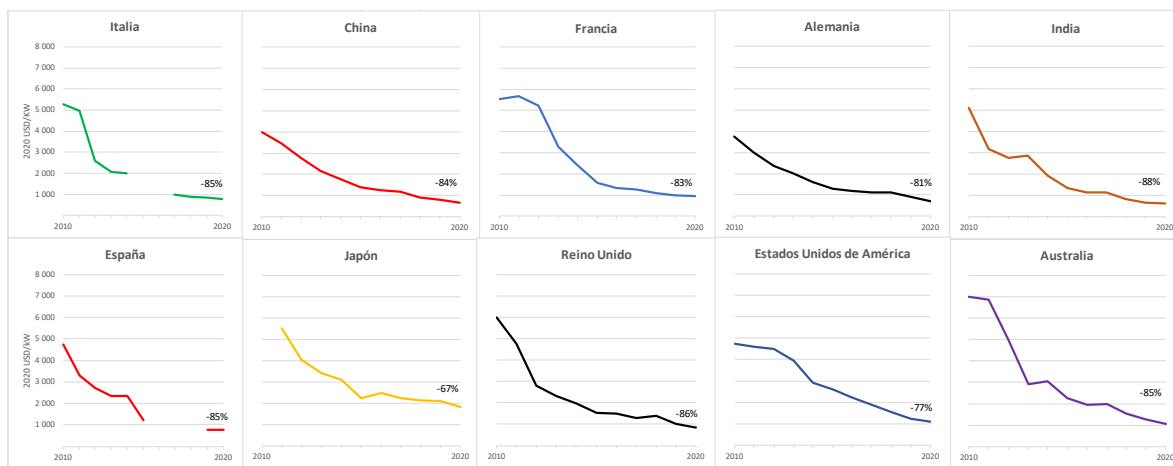
- El costo del silicio policristalino,
- La eficiencia energética de la celda FV, y
- La tasa de conservación del silicio en la cadena, desde las llamadas obleas hasta los módulos según su dimensión.

El costo de la parte correspondiente a los módulos de celdas fotovoltaicas fluctúa entre el 50% y el 70% del costo total del sistema, en función de la aplicación y de su tamaño (Comisión Europea, 2013).

El costo de la instalación oscila entre el 10% y el 15%, mientras que el costo de los componentes para el balance del sistema representa entre el 25% y el 40%.

La Plataforma Europea de Tecnología e Innovación FV (ETIP, por sus siglas en inglés) señala que el costo de los sistemas FV ha disminuido en los últimos años (ETIP SNET, 2016). Al respecto, como se muestra en la figura 5, los costos totales de la energía FV han disminuido hasta en 88% del 2010 al 2020 (IRENA, 2021).

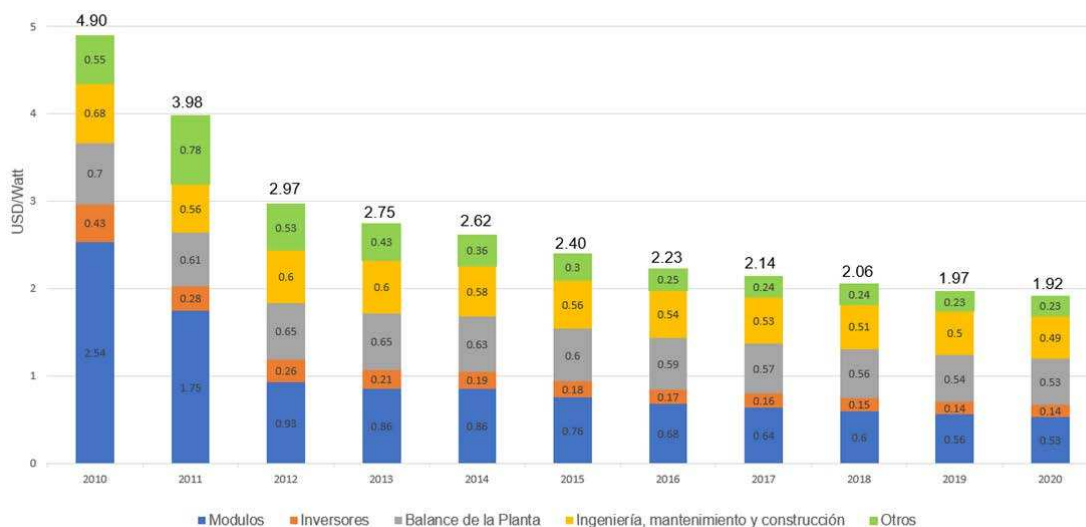
Figura 5: Tendencias de costos totales de energía solar fotovoltaica en los principales países generadores de electricidad FV



Fuente: IRENA (2021)

Los costos de instalación de sistemas también han disminuido. La figura 6 muestra que entre los años 2010 y 2020, dichos costos han pasado de 4.9 USD/Watt a 1.92 USD/Watt. Lo que significa una disminución de 61.8%.

Figura 6: Costos de instalación de sistemas FV a nivel global (2010 - 2020).



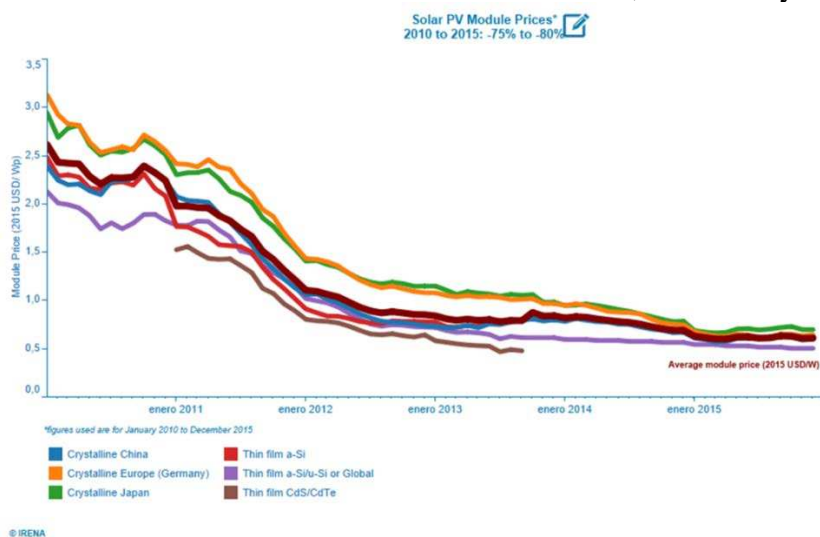
Fuente elaboración propia con base en datos de IRENA (2021).

Se dice que hay paridad de red (PR) cuando el costo de generar energía eléctrica por medio de FV es el mismo que comprarlo desde la red. Actualmente, la Tecnología FV ha alcanzado la PR con la red eléctrica en la mayoría de los países, segmentos de mercado y en venta al por mayor (ETIP SNET, 2016).

Durante décadas, el precio de los módulos FV ha seguido muy de cerca la llamada curva de aprendizaje. Esto significa que cada vez que se duplica la capacidad de generación global FV acumulada, el precio de los módulos se reduce en aproximadamente el 25%. Se espera que este desarrollo continúe durante las próximas décadas, principalmente debido a mejores procesos de fabricación, menor uso de materiales y mejorar continuamente la eficiencia del módulo. Lo que también reducirán el balance del sistema por ejemplo de costos junto con innovaciones en procesos de instalación (ETIP SNET, 2016).

Como se muestra en la Figura 7, el precio de los módulos FV en países productores ha disminuido en una proporción que va del 75% al 80% en un periodo de 5 años (de 2010 a 2015).

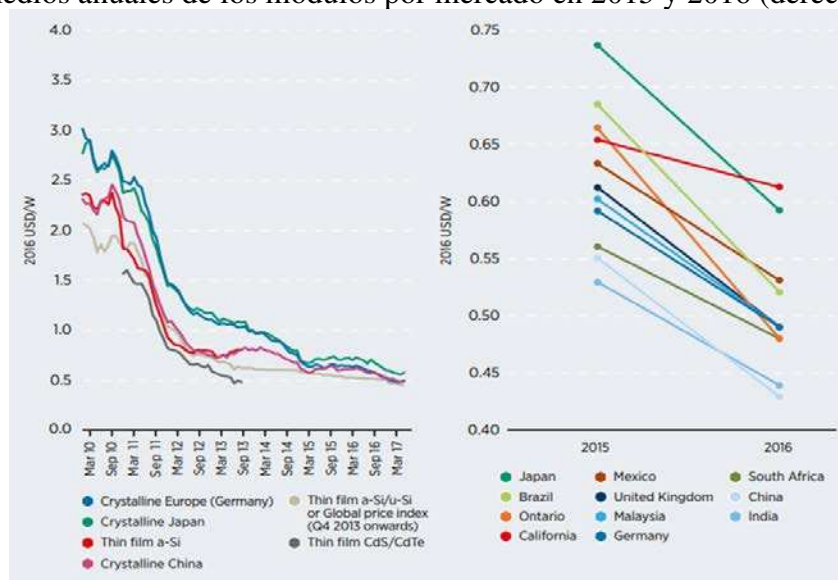
Figura 7: Precios de los módulos solares FV en China, Alemania y Japón



Fuente: (IRENA, 2017).

En México, los precios de los módulos FV siguen la misma tendencia global. Como se muestra en la Figura 8, el precio de los módulos FV disminuyó en 15.6% por watt, entre los años 2015 y 2016.

Figura 8: Precios medios mensuales de los módulos solares fotovoltaicos europeos por tecnología y fabricante de módulos, marzo de 2010—mayo de 2017 (izquierda) y precios medios anuales de los módulos por mercado en 2015 y 2016 (derecha)



Fuente: (IRENA, 2019).

En el contexto amplio de tecnologías fotovoltaicas, las celdas solares de silicio, llamadas de primera generación sin duda dominan el mercado, debido a la combinación de su eficiencia de conversión de alta potencia con procesos de producción consolidados. Sin embargo, sus costos y consumo de materias primas siguen siendo bastante altos. Como alternativa en el futuro próximo, la segunda generación fotovoltaica, denominadas “FV emergentes” tiene como objetivo lograr módulos FV comparables con los de las tecnologías existentes, pero con un costo por metro cuadrado aún menor (Ciceroni, Agresti, Di Carlo, y Brunetti, 2017).

Actualmente, las reducciones de costos totales de instalación de sistemas fotovoltaicos están relacionadas con varios factores. Se observa que los principales impulsores de los menores costos de los módulos son la optimización de los procesos de fabricación, la reducción de los costos de mano de obra y la mejora de la eficiencia de los módulos. Además, a medida que los desarrolladores de proyectos adquieren más experiencia y las estructuras de la cadena de suministro continúan desarrollándose en más mercados, la disminución de los costos del Balance del Sistema ha seguido. Esto ha llevado a que en un mayor número de mercados los sistemas fotovoltaicos están logrando estructuras de costos competitivas y disminuyendo los costos totales de instalación (IRENA 2021).

Partiendo de lo anterior, es evidente que los costos decrecientes de la tecnología FV representan una ventaja. No obstante, es necesario realizar estudios específicos que aborden el costo de la tecnología FV en México, así como el costo de generación de electricidad FV. Adicionalmente, el costo de generación de electricidad FV debe analizarse con respecto a los costos de otras tecnologías de generación de electricidad, así como dentro de portafolios de generación de electricidad en México.

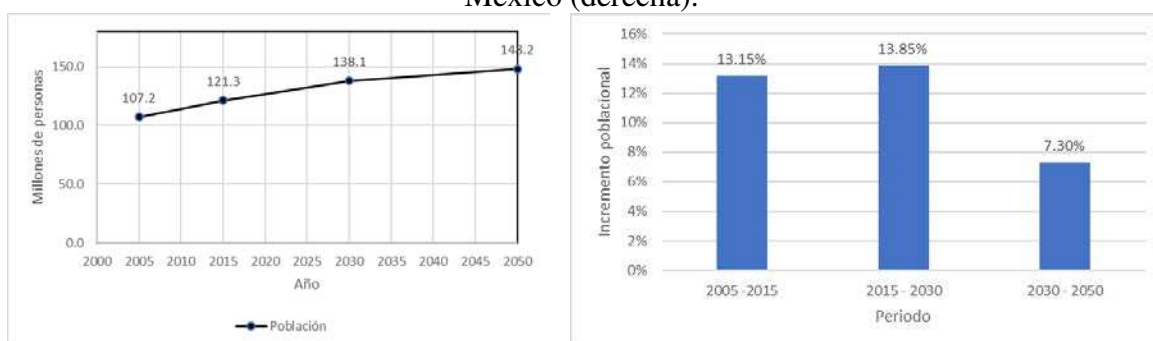
5. La creciente demanda por electricidad en México

La **tercera** razón para impulsar la generación de electricidad FV en México consiste en que representa una alternativa factible para satisfacer la creciente demanda de electricidad, debida al crecimiento de la población.

La población mexicana presenta una tasa promedio de crecimiento del 1.24% anual desde el año 2005. La Figura 9 muestra que la población mexicana pasó de 107.2 en el año 2005 a 121.3 millones de personas en el año 2015 (CONAPO, 2016) que corresponde a un

incremento poblacional del 13.15%. Adicionalmente, se estima que para los años 2030 y 2050 habrá respectivamente 138.1 millones y 148.2 millones de mexicanos (CONAPO, 2016). Partiendo de estas proyecciones se pronostica un incremento poblacional de 13.85% del 2015 al 2030. Adicionalmente, se pronostica que del año 2030 al año 2050 la población incrementará en 7.3%.

Figura 9: Proyecciones de población en México (izquierda) e incremento de la población en México (derecha).



Fuente: Elaboración propia con base en datos del CONAPO, 2016.

En el año 2016, el consumo nacional de energía eléctrica fue de 5,305 Petajoules¹⁰ (SIE SENER, 2018). El consumo de electricidad tuvo el mayor crecimiento en el consumo final energético, con un aumento del 60%, del año 2000 al año 2015 (SIE SENER, 2018). Los sectores residencial y comercial consumieron el 19% de la electricidad en México (SIE SENER, 2018).

De mantenerse estas tendencias, el aumento de población conllevará a aumentar la demanda de la electricidad principalmente en los sectores residencial y comercial e industrial y de transporte.

¹⁰ Un petajoule equivale a 277,777.77778 MW/h.

Adicionalmente, de acuerdo con la *Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios*, se estima que, con una población de 148.2 millones de habitantes, el consumo final energético en el *Escenario de Línea Base (año 2014)* establecido por la SENER aumentará a una tasa anual de 1.9% hasta el año 2035 y hacia 2050, el consumo final energético será de 9,621 petajoules (SENER, 2020).

Partiendo de lo anterior, el atender la creciente demanda de electricidad, derivada del crecimiento poblacional, hace muy atractiva a la electricidad FV como una opción a considerar. Sin embargo, es necesario realizar estudios particulares que analicen la participación eficiente de la electricidad FV en un portafolios de generación de electricidad en México para atender la demanda de electricidad.

6. Necesidad de mitigar las emisiones de CO₂

La **cuarta** razón para impulsar la generación de electricidad FV en México consiste en que contribuye a mitigar las emisiones de CO₂ asociadas a la generación eléctrica.

La AIE (2010) establece como uno de los dos desafíos energéticos futuros para el 2050, el de implementar un nuevo sistema de suministro de energía con bajas emisiones de carbono, eficiente y respetuoso con el medio ambiente. Se plantea un escenario futuro en el que las energías renovables (incluida la solar fotovoltaica) se beneficiarán de reducciones de costos. México, derivado de las iniciativas originadas de la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro en 1992, asumió diversos compromisos con el medio ambiente que se consolidaron con la Ley General de Cambio Climático en el año 2012 (LGCC). En ella, el objetivo indicativo fue de reducir al año 2020 un treinta por ciento sus emisiones respecto a la línea base, y un cincuenta por ciento al 2050 con a relación a las emitidas en el año 2000. De esta forma, la

energía limpia, como lo es la energía FV, contribuirá a reducir un treinta y uno por ciento del CO₂ proyectado a 2030 (LGCC, 2012).

Posteriormente, durante su participación en la 22 Conferencia de las Partes (COP22) de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, México presentó su estrategia de reducción de emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) al 2050, refrendando con ello su compromiso para dar cumplimiento al Acuerdo de París, que entró en vigor en noviembre de 2017. Con ello, México se compromete a reducir el 25% de sus emisiones de GEI y de Contaminantes Climáticos de Vida Corta (bajo BAU) al año 2030. Este compromiso implica una reducción del 22% de GEI y una reducción del 51% de Carbono Negro.

Por lo que, la creciente demanda de electricidad debe ser atendida aumentando la oferta de electricidad a través de tecnologías limpias que ayuden a mitigar las emisiones de CO₂. Dada la favorecida irradiación solar con la que México cuenta, la electricidad FV surge como la primera opción a considerar. A este respecto, es necesario realizar estudios particulares donde se analice la mitigación de las emisiones de CO₂ a través de generar electricidad FV, comparada con otras tecnologías limpias de generación eléctrica.

7. Proyección de la participación de la electricidad FV en la generación eléctrica nacional

A pesar de las ventajas con las que cuenta la generación de electricidad FV, ésta no es considerada como un elemento destacable dentro de la expansión del sistema eléctrico nacional.

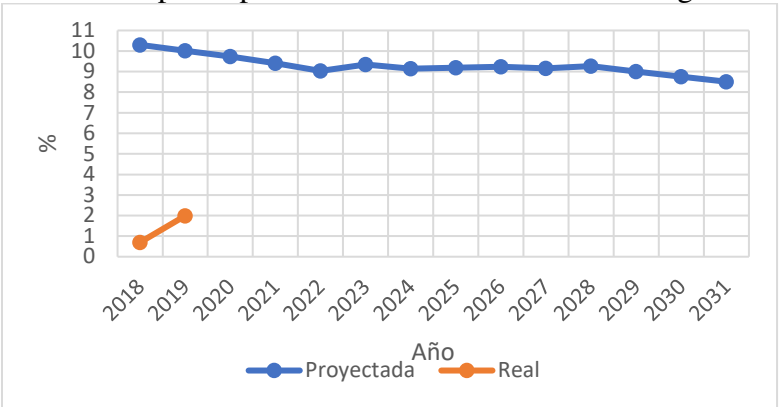
En SENER (2019) se plantea que, en la oferta energética se prevé la adición de 66,912 MW de nueva capacidad instalada para el año 2032. De los cuales, el 54.9% será de tecnologías limpias y el restante 45.1% de tecnologías convencionales. La tecnología de ciclo combinado

concentrará el 42% del total de adiciones, le seguirá la eólica con el 22.1%. Por su parte, la oferta de energía eléctrica con tecnología FV aumentará en 21.6% .

Es de destacar que las necesidades de inversión se dirigen principalmente en proyectos relacionados con la reactivación de centrales eléctricas de la CFE¹¹, la incorporación a mediano plazo de centrales de ciclo combinado, geo-termoeléctricas, cogeneración eficiente y la rehabilitación y modernización de hidroeléctricas en operación. Mientras que la electricidad FV apenas es considerada dentro de las energías limpias en uno de los Principios de la Nueva Política Energética en Materia de Electricidad, que establece “Aumentar la generación eléctrica con energías limpias y renovables, y cumplir con los compromisos en relación al cambio climático y reducción de emisiones.” (SENER, 2019).

De hecho, en SENER (2019) se tiene proyectado que la participación de la electricidad FV en la generación eléctrica nacional sea de entre el 8.51 y el 10.3% para los años 2018 a 2031. No obstante, como se muestra en la Figura 10, estas proyecciones de participación no se han cumplido para los años 2018 (proyectada, 10.3%; real, 0.7%) y 2019 (proyectada, 10.01%; real, 1.99%).

Figura 10: Proyección de la participación de la electricidad FV en la generación eléctrica



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de SENER (2017 y 2019).

¹¹ Comisión Federal de Electricidad.

Lo anterior sugiere que la participación de la electricidad FV en la generación eléctrica nacional será mucho menor a la proyectada en SENER (2019). De hecho, es posible preguntar si la participación proyectada de electricidad FV es eficiente en la generación eléctrica mexicana. Para dar respuesta a esta pregunta es necesario realizar estudios particulares que analicen la participación eficiente de la electricidad FV en un portafolio de generación de electricidad en México.

8. Conclusiones

¿Por qué la México debería impulsar la generación de electricidad FV? En este análisis se presentan cuatro razones principales:

1. Aprovechar la privilegiada irradiación solar con la que cuenta México;
2. Aprovechar la tendencia decreciente de los costos de la tecnología FV;
3. Representa una alternativa factible para satisfacer la creciente demanda de electricidad, debida al crecimiento de la población, y;
4. Contribuye a mitigar las emisiones de CO₂ asociadas a la generación eléctrica.

De hecho, se encuentra que, para que México aproveche su favorecida irradiación solar se deberían generar 115,733.7 GWh de electricidad FV. Lo que implica un aumento de 1,656% con respecto a la generación actual (6,591 GWh).

El presente análisis deja en claro que es necesario realizar investigaciones académicas sobre generación de electricidad FV en México. A este respecto se recomienda analizar: los factores (políticos, legales, económicos, tecnológicos, entre otros) que limitan la participación de la generación de electricidad FV en México; el costo de la tecnología FV en México; el costo de generación de electricidad FV, comparado con los costos de otras tecnologías de generación de electricidad, así como dentro de portafolios de generación de

electricidad en México; la mitigación de las emisiones de CO₂ a través de generar electricidad FV, comparada con otras tecnologías limpias de generación eléctrica; la participación eficiente de la electricidad FV en un portafolio de generación de electricidad en México.

Bibliografía

1. Becerra-Pérez, L.A.; González-Díaz, R.R.; Villegas-Gutiérrez, A.C. (2020) La energía solar fotovoltaica, análisis costo beneficio de los proyectos en México. RINDERESU 2020, 5. <http://rinderesu.com/index.php/rinderesu/article/view/104/107>
2. Ciceroni, C., Agresti, A., Di Carlo, A., & Brunetti, F. (2017). Graphene Oxide for DSSC, OPV and Perovskite Stability. In *The Future of Semiconductor Oxides in Next-Generation Solar Cells, A volume in Metal Oxides* (pp. 503-531). Roma, Italia: Università di Roma Tor Vergata.
3. Comisión Europea. (2013). *Informe de situación sobre la energía renovable*. Bruselas: Comisión Europea. Retrieved from <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2013/ES/1-2013-175-ES-F1-1.Pdf>
4. CONAPO. (2016). *Cuadernillos estatales de las Proyecciones de la Población de México y de las Entidades Federativas, 2016-2050*. Consejo Nacional de Población (CONAPO). Retrieved from <https://www.gob.mx/conapo/documentos/cuadernillos-estatales-de-las-proyecciones-de-la-poblacion-de-mexico-y-de-las-entidades-federativas-2016-2050-208243?idiom=es>
5. ETIP SNET. (2016). *Final 10-year ETIP SNET R&I roadmap covering 2017-26*. Bruselas: European Technology and Innovation Platform for "Smart Networks for the Energy Transition" (ETIP SNET).
6. IEA. (2010). World Energy Outlook 2010. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2010>
7. IEA (2020), IEA Electricity Information 2020 <https://www.iea.org/subscribe-to-data-services/electricity-statistic>
8. IRENA. (2017). *IRENA Cost and Competitiveness Indicators for Rooftop Solar PV*. International Renewable Energy Agency (IRENA). Retrieved from <https://www.irena.org/publications/2017/Dec/IRENA-cost-and-competitiveness-indicators-Rooftop-solar-PV>
9. IRENA. (2019). Renewable energy auctions: Status and trends beyond price. International Renewable Energy Agency (IRENA). Retrieved from file:///C:/Users/Usuario/Downloads/IRENA_RE%20Auctions_Status%20and%20trends_2019.pdf

10. IRENA (2021), Renewable Power Generation Costs in 2020, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. <https://www.irena.org/publications/2021/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2020>
11. León-Trigo, Luz Ileri, Reyes-Archundia, Enrique, Gutiérrez-Gnecchi, José Antonio, Méndez-Patiño, Arturo, & Chávez-Campos, Gerardo Marx. (2019). Smart Grids en México: Situación actual, retos y propuesta de implementación. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 20(2) <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2019.20n2.015>
12. LGCC. (2012). Ley General de Cambio Climático. https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/6583/1/ley_general_de_cambio_climatico.pdf
13. Martínez Prats, G., Silva Hernández, F., Altamirano Santiago, M., & Hernández Salinas, J. A. (2021). Apuntes de la energía fotovoltaica en México. *3C Tecnología. Glosas De Innovación Aplicadas a La Pyme*, 10(1), 17-31. Recuperado a partir de <http://ojs.3ciencias.com/index.php/3c-tecnologia/article/view/1164>
14. Secretaría de Energía (2017) [SENER (2017)]. Prospectiva del sector eléctrico 2017-2031. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/284345/Prospectiva_del_Sector_Electrico_2017.pdf
15. SIE SENER. (2018). *SIE*. Retrieved from Sistema de Información Energética: <http://sie.energia.gob.mx/>
16. SENER. (2019). *Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2019-2033*. Retrieved from PRODESEN 2019-2033: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/475497/PRODESEN_V.pdf
17. SENER. (2020 02 07). ACUERDO por el que la Secretaría de Energía aprueba y publica la actualización de la Estrategia de Transición para Promover el Uso. *DOF*.
18. The World Bank. (2017). *Global Solar Atlas*. Retrieved from World Bank Group: <https://globalsolaratlas.info/map>
19. Urdiales, Eduardo (2014), “Energía solar: su aprovechamiento mediante sistemas fotovoltaicos” en Román Zozaya A., Montes Mendoza R. I. y Morfín Maciel A. (compiladores), *Políticas públicas y gestión estratégica en México: retos y oportunidades*, Universidad Anáhuac México Norte, Facultad de Economía y Negocios. <http://pegaso.anahuac.mx/accesoabierto/publicaciones.php?Accion=Informacion&Tab=Escuela&Area=&Tema=&Subtema=&Year=&Autor=&Tipo=&Universidad=1&Escuela=2&Centro=2&Pub=5>
20. Vargas-Hernández, J., & Espinosa, E. (2016). Solar Panel and Renewable Energy in Mexico Development and Outlook for Photovoltaic. *International Journal Of Environment And Sustainability*, 5(2). doi:10.24102/ijes.v5i2.677